

В.М. ПЛЮСНИН*, ЛИ ЦЗЕХУН, ЧЭНЬ СЯОНА****

*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, plusnin@irigs.irk.ru

**Институт географии и природных ресурсов Китайской АН,
100101, Пекин, ул. Датун, 11а, Китай, lizehong@ igsnr.ac.cn, chenxn@igsnr.ac.cn

РЕАКЦИЯ ЛЕДНИКОВ В ГОРАХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ, МОНГОЛИИ И СЕВЕРО-ЗАПАДА КИТАЯ НА ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Главным методом исследований современного состояния горных ледников стало использование разнообразной, разновременной космической информации. За 50 лет космических съемок накоплен большой архив изображений снежно-ледниковых систем на Земле с разным пространственным разрешением. Они вместе с ранее созданными топографическими картами, где были отображены ледники, каталогами ледников, специальными картами и атласами льда и снега дают основания для определения изменений площадей, длин, объемов, высотного положения ледников при текущем потеплении климата. В 1986 г. была создана Всемирная служба мониторинга ледников (WGMS), ведущая наблюдения за их колебаниями в разных регионах Земли. Однако количество объектов наблюдений ограничено. В глобальную наземную сеть наблюдений за ледниками включены в основном те ледники, на которых ранее проводились наземные исследования колебания фронта ледников, масс-балансовых измерений, измерений метеопараметров, скоростей течения льда, особенностей абляции. Для выявления региональных различий, разного высотного и планового местоположения, влияния многолетней мерзлоты, фонового ландшафтного окружения необходимы данные о большем количестве анализируемых ледников. Поэтому группы исследователей из Иркутска и Пекина в рамках международных проектов начали работы по изучению динамики ледников во внутриконтинентальных районах Евразии. Выбрано несколько ледников в горах юга Восточной Сибири, на Монгольском Алтае и в восточной части Тянь-Шаня. Зафиксированы современные нижние концы ледников, их высотные отметки. Определены длины и площади ледников в начале 1970-х и 2000-х гг. и в их современном состоянии. Выявлены некоторые связи динамики ледников с изменениями метеорологических параметров в последние десятилетия.

Ключевые слова: динамика ледников, мониторинг, запас холода, юг Восточной Сибири, Монгольский Алтай, восточные хребты Тянь-Шаня.

V.M. PLYUSNIN*, LI ZEHONG, CHEN XIAONA****

*V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, plusnin@irigs.irk.ru

**Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, CAS,
100101, Beijing, Datun Road, 11a, China, lizehong@ igsnr.ac.cn, chenxn@igsnr.ac.cn

GLACIER RESPONSE TO GLOBAL WARMING IN THE MOUNTAINS OF EASTERN SIBERIA, MONGOLIA AND NORTH-WEST CHINA

The use diverse, multi-temporal satellite space information has become the main approach in investigating the current status of mountain glaciers. We have accumulated large archives of satellite images of snow-glacial systems on Earth with different spatial resolutions over the past 50 years. Together with the previously created topographic maps displaying glaciers, glacier catalogs, special maps and atlases of ice and snow, they give grounds to determine changes in areas, lengths, volumes, and altitude of glaciers during the current climate warming. In 1986, the World Glacier Monitoring Service (WGMS) was founded to monitor glacier fluctuations in different regions of the Earth. However, the number of observation sites is limited. The Global Ground Glacier Observing Network mainly includes those glaciers where we previously conducted ground-based studies of glacier front fluctuations, mass balance measurements, measurements of meteorological parameters, ice flow velocities, and ablation features. To identify regional differences, different altitude and plan locations, the influence of permafrost, and the background landscape environment requires data on a larger number of glaciers being analyzed. Therefore, groups of researchers from Irkutsk and Beijing, started to study the dynamics of glaciers in the inland regions of Eurasia within the framework of international projects. Several glaciers were selected in the mountains of the south of Eastern Siberia, the Mongolian Altai and the eastern part of the Tien Shan. We recorded current glacier fronts and their elevation marks. The lengths and areas of glaciers

in the early 1970s and early 2000s and their current state were determined. In recent decades, some connections between the dynamics of glaciers and changes in meteorological parameters have been revealed.

Keywords: dynamics of glaciers, monitoring, cold content, south of Eastern Siberia, Mongolian Altai, eastern ridges of the Tien Shan.

ВВЕДЕНИЕ

Наши работы в горах юга Восточной Сибири опирались на исследования томских и алтайских географов, продолжали дело М.В. Тронова, Л.Н. Ивановского, В.С. Ревякина, М.А. Душкина, П.А. Окишева, А.А. Земцова. В.С. Ревякин в своей научной деятельности много внимания уделял вопросам оледенения Алтая. Его исследования касались современного и древнего оледенения Алтая, горного рельефа, снежного покрова в горах, лавин, современных экзогенных процессов рельефообразования, воздействия человека на горные геосистемы, экологических проблем.

При исследовании динамики ледников Восточной Сибири нами [1–3] были определены особенности их поведения в последние десятилетия в связи с глобальным потеплением климата. Для более надежного представления об изменении оледенения в других внутриконтинентальных горных системах были проведены исследования в ряде ключевых участков на западе Монголии и северо-западе Китая.

Ледники и снежники в горах служат важным индикатором изменения климата, поэтому изучение их динамики и эволюции является одной из приоритетных задач фундаментальной проблемы географии — реакции географических систем на такие изменения. Для определения и оценки динамического состояния нивально-гляциальных комплексов необходим космический мониторинг гляциальных объектов на выбранных ключевых участках, а также увязка размеров ледников с изменениями температуры воздуха и количеством атмосферных осадков.

С 1850–1880 гг. большинство горных ледников на Земле сокращаются в размерах [4–12], ледники плоских вершин дробятся, превращаясь в каровые и долинные. Каровые ледники преимущественно сохраняют свою площадь, однако объем льда в них значительно уменьшается. Скорости отступления ледников различны в приокеанических и внутриконтинентальных горных регионах. Однако в целом отступление или рост ледников тесно связаны с глобальными изменениями климата — потеплением или похолоданием.

Однако в целом отступление или рост ледников тесно связаны с глобальными изменениями климата — потеплением или похолоданием.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Выбраны ключевые участки внутри Евразии на горных территориях трех стран — России, Монголии и Китая (рис. 1). Все они удалены от ближайших морей на расстояние свыше 2100 км. Высоты гор превышают 3000 м (массив пика Топографов, Россия) и достигают 4200 м (хр. Цамбагарав, Монголия) и 4800 м (хр. Карлыктаг, Китай).

Выполненные в ходе полевых исследований GPS-съемки границ ледников, озер, конечных и боковых морен сопоставлялись с разновременными космическими снимками и литературными описаниями предшествующих исследователей ледников. Из космических снимков использовались данные Landsat-5, -7, -8 портала Google «Планета

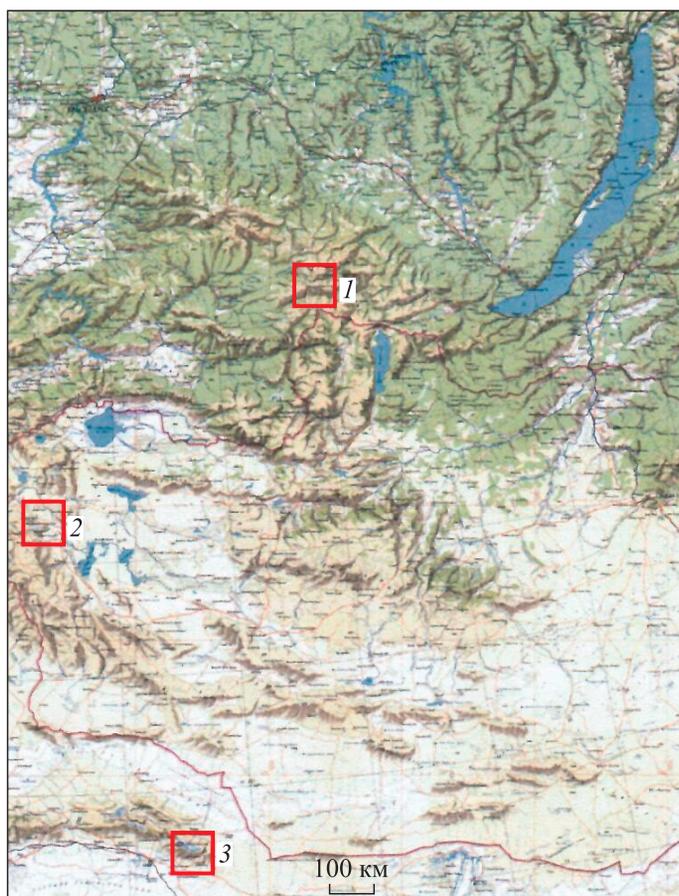


Рис. 1. Расположение ключевых участков.

- 1 — пик Топографов (Восточный Саян);
2 — хр. Цамбагарав (Монгольский Алтай);
3 — хр. Карлыктаг (Восточный Тянь-Шань).

Земля» с пространственным разрешением 15 и 30 м (съемки 2000, 2002, 2008, 2011, 2012, 2016, 2017 и 2020 гг.). Дополнительно для некоторых ледников были использованы космические снимки EROS-B (разрешение 0,7 м) и QuickBird (2006, 2009 гг.) с пространственным разрешением 0,6 м. Кроме того, в рамках совместных исследовательских программ на территории Китая использовались снимки Gao-Jing-1-03 2018 г. (оператор Space View, Китай) с разрешением 0,5 м/пиксель.

На примере отдельных ледников, их нижних конечных частей, моренных отложений были получены фактические данные об отступании нижних концов ледников, их высотном положении, уменьшении размеров ледников, изменении концентрации обломочного материала у фронта ледника, формировании приледниковых ландшафтов на месте бывших масс льда и снега.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Горный массив пика Топографов (Восточный Саян, Россия) ($52^{\circ}33'$ с. ш., $98^{\circ}47'$ в. д.) расположен в верховьях рек Большой Енисей и Ока. Здесь широко распространены альпинотипные формы рельефа — скальные остроконечные вершины с максимальной высотой 3089,2 м, гребневидные водоразделы, многочисленные кары, преимущественно занятые ледниками или многолетними снежниками. При средней высоте близко расположенных вершин 2360 м средняя амплитуда высот составляет 787 м, а вертикальное расчленение — 0,49. Моренные отложения, сложенные грубообломочным материалом, окаймляют ледники невысокими валами.

Метеоданные по станции Орлик ($52^{\circ}31'$ с. ш., $99^{\circ}49'$ в. д., высота 1388 м), наиболее близко расположенной к исследуемым ледникам, следующие: среднегодовая температура воздуха за 1960–2010 гг. составляет $-4,5^{\circ}\text{C}$, средняя зимняя температура $-25,2^{\circ}\text{C}$, средняя летняя — $13,5^{\circ}\text{C}$, средняя амплитуда температур воздуха — $38,7^{\circ}\text{C}$, количество осадков — 473 мм/год, годовой радиационный баланс (по Н.С. Беркину) — 1703 МДж/м², континентальность климата (по С.П. Хромову) — 0,89. Верхняя граница леса проходит на высоте 1870 м, снеговая — на высоте 2590 м.

Ледники северной экспозиции, каровые и карово-долинные, с 1972 г. отступили в длину в среднем на 540 м, а по площади уменьшились на 0,27 км². Изменения нивально-гляциальной системы более всего коснулись ледника № 17. По Каталогу ледников СССР [13], висячий ледник № 15 перешел в стадию каменного глетчера, а ледник № 16 в многоснежные зимы сочленяется с № 17. Нижний край ледников в среднем поднялся на 129 м (рис. 2). Он почти полностью забронирован каменным материалом, и с каждым годом уменьшается количество льда среди каменистых отложений.

С начала XX в. до 2020 г. общее сокращение площади оледенения в горах юга Восточной Сибири составило 20 %. Темпы деградации оледенения существенно возросли в конце 1980-х гг., когда ледники потеряли 15 % своей площади (табл. 1).

В сибирских ледниках запас холода, накопившийся за зимний период, препятствует интенсивной абляции. Суммы отрицательных температур воздуха по метеостанциям, наиболее близко расположенным к изучаемым ледникам, с 2007 по 2010 г. ежегодно росли. Так, по данным наблюдений на станции Орлик, в указанные годы они составили 2650, 2820, 3010, 3324 °C соответственно. Бронирование каровых ледников обломочным материалом уменьшает их таяние, но создает условия для образования каменных глетчеров у краев ледников. Количество их за последние 30 лет возросло почти вдвое.

Горный хребет Цамбагарав (Монгольский Алтай), Монголия ($48^{\circ}40'$ с. ш., $90^{\circ}50'$ в. д.), располагается в центральной части Монгольского Алтая. Горная система вытянута в северо-западном направлении на 37 км, в меридиональном на 25 км и включает три хребта — Цаст-Ула, Хух-Нуруу, Ямат. Абсолютные высоты в пределах горного узла варьируют от 2840 до 4163 м. Высшая точка — на горе Цаст — достигает 4193 м. Цамбагарав относят к району с относительно влажным, холодным летом и очень холодной зимой. Метеостанция Байннуур находится в 42 км северо-восточнее исследуемых ледников на высоте 1364 м. По данным наблюдений на этой станции, температура летнего периода в среднем $16,5^{\circ}\text{C}$, в то время как среднегодовая температура составляет $-4,8^{\circ}\text{C}$. Зимние температуры колеблются от -11 до -31°C . По данным метеостанции Эрдэнэбурэн, расположенной в 41 км восточнее исследуемых объектов на высоте 1250 м, средняя годовая температура воздуха составляет $-4,1^{\circ}\text{C}$, летние температуры — $16,7^{\circ}\text{C}$, а количество осадков не превышает 80 мм. В самый холодный период (с декабря по февраль) выпадает до 30 мм, в самый теплый (с июня по август) — почти в 10 раз больше [14].

Современное оледенение массива Цамбагарав характерно для вершинных плоских или слабо-наклонных привершинных поверхностей и начинающихся от них верховий долин. Из 44 ледников массива, известных в 1970 г., к настоящему времени осталось 40. На хр. Хух-Нуруу насчитывается

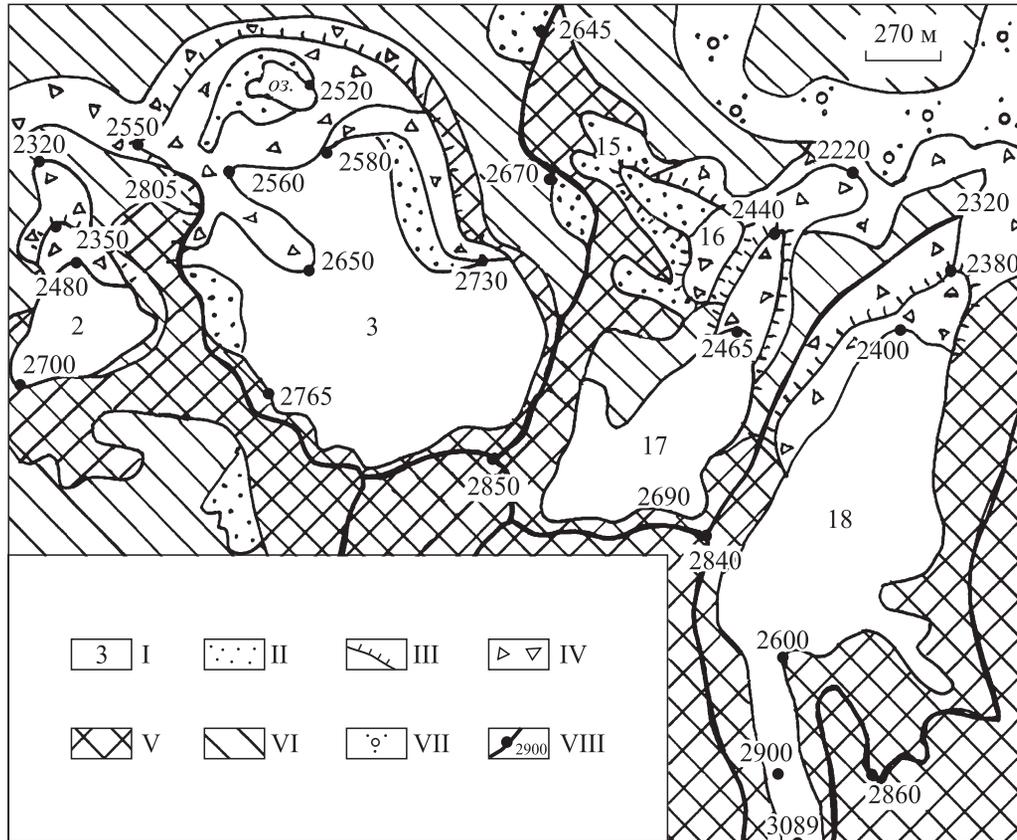


Рис. 2. Динамика ледников у пика Топографов (Восточный Саян).

Нивально-гляциальные геосистемы: I — современные ледники, их номера, II — современные многолетние снежники, III — ледники по состоянию на 1972 г., IV — моренные отложения. Гольцовые геосистемы: V — альпийно-типные скальные, VI — субальпийно-типные крутосклоновые каменистые, с разреженным травяно-лишайниковым покровом, VII — кустарниковые днища и склонов долин. VIII — водоразделы и отметки высот.

23 ледника, на хр. Цаст — 15, а на хр. Ямат всего два ледника. Средняя длина ледников уменьшилась на 900 м. В результате абляции многие ледники переходят из одной формы в другую — из плосковершинных в каровые, из долинных в каровые, из каровых в карово-висячие [15].

По морфологическим характеристикам можно выделить пять типов ледников — долинные, каровые, плосковершинные, карово-долинные и карово-висячие. По результатам дешифрирования космических снимков за 1977 и 2016 гг. можно с уверенностью говорить о постепенном уменьшении оледенения горного узла Цамбагарав.

Горный массив Цамбагарав входит в состав Государственного природного национального парка, созданного в 2000 г. Здесь охраняются редкие виды животных, лекарственные растения и в целом высокогорные экосистемы. Развиваются горный туризм и альпинизм, на ледниках проводится гляциологический мониторинг. По данным реконструкции оледенения массива [14], в максимум малого ледникового периода в хребте было 73 ледника с общей площадью 128,4 км². В это время плосковершинные ледники, доминирующие по площади, сливались, образуя единый снежно-ледовый массив сложной конфигурации. Более трети ледников были висячими, они развивались на крутых склонах в верхьях долин под плосковершинными. К 1968–1970 гг. площадь оледенения сократилась до 83 км², а фирновая линия поднялась на 89 м. К 2006–2008 гг. произошло дальнейшее сокращение площади ледников до 73,18 км², высота фирновой линии поднялась еще на 60 м. Измерения по космическим снимкам 2016 г. показали дальнейшее сокращение суммарной площади ледников до 68,8 км² (см. табл. 1).

Деградация ледников массива Цамбагарав происходит более интенсивно на восточных склонах, что вызвано уменьшением здесь количества атмосферных осадков, связанным с глобальным потеплением, начавшимся в 1970-е гг. Ледники № 37 и 38 в 1970 г. сливались, и их нижний край отстоял от современных на 1455 м (рис. 3, 4), а по высоте был ниже на 210–280 м. Процессы бронирования

Таблица 1

Ледники у пика Топографов и массива Цамбагарав

Номер ледника и его тип	Год	Длина, км	Площадь, км ²	Высота нижнего края, м
Пик Топографов, Восточный Саян, Россия				
№ 2, каровый	1972	0,8	0,2	2350
	2002	0,6	0,15	2480
	2020	0,51	0,15	2480
№ 3 (Авгевича), карово-долинный	1972	1,7	1,4	2500
	2002	1,5	1	2550
	2020	1,34	0,82	2560
№ 17, долинный	1972	1,6	0,5	2220
	2002	1,2	0,4	2440
	2020	0,81	0,27	2465
№ 18, долинный	1972	2,5	1,1	2320
	2002	2	1	2380
	2020	1,79	0,9	2400
Массив Цамбагарав, Монгольский Алтай, Монголия				
№ 7, долинный	1970	4,6	5,3	2810
	2008	4,1	5,2	2980
	2016	4,02	4,85	3005
№ 15, каровый	1970	1,2	0,8	3470
	2008	1,1	0,7	3490
	2016	0,45	0,42	3730
№ 34, долинный	1970	2,5	1,9	3160
	2008	1,9	1,7	3300
	2016	1,78	1,68	3430



Рис. 3. Космический снимок Landsat-7 (2011 г.) южной части массива Цамбагарав.

1 — нижний край морены стадии Фернау (1840–1880 гг.); 2 — край морены «исторической стадии» (1200–1350 гг.); 3 — предположительно морена стадии Вюрма (13–18 тыс. л. н.).

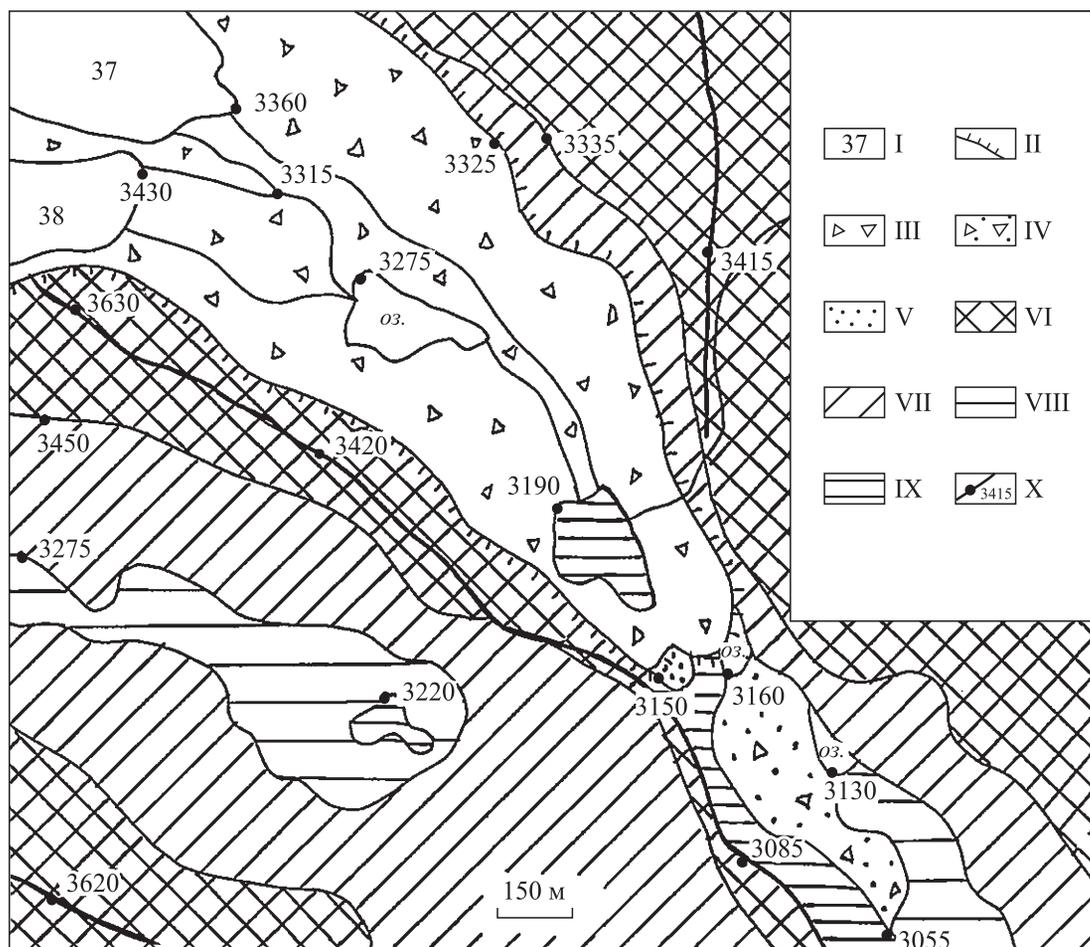


Рис. 4. Динамика ледников массива Цамбагарав (Монгольский Алтай).

Нивально-гляциальные геосистемы: I — современные ледники, их номера, II — ледники по состоянию на 1970 г., III — моренные отложения незадернованные, IV — долинные древнеморенные горно-тундровые, V — плоские зандровые песчано-галечниковые. Гольцовые геосистемы: VI — альпинотипные скальные, VII — субальпинотипные крутосклонные каменистые, VIII — днища долин травяно-лишайниковые, IX — долинные увлажненные травяно-моховые. X — водоразделы и отметки высот.

ния нижних концов ледников выражены слабо из-за малых площадей скальных выходов, поставляющих обломочный материал на ледники. В некоторых долинах после таяния льда формируются озера.

Данные реанализа NCEP/NCAR, двух национальных центров США — экологического прогнозирования и атмосферных исследований, отражают средние месячные температуры воздуха на высоте 3000 м, что практически соответствует снеговой линии на горных ледниках [16] (табл. 2). Запасы холода и тепла (их разность), по данным реанализа NCEP/NCAR, показали, что с 1977 по 2000 г. суммы отрицательных температур увеличились на 438 °С (с 2283 до 2721 °С/год), затем (до 2018 г.) снизились на 212 °С. Рост сумм положительных температур происходит с начала 1990-х гг. до настоящего времени. За последние 10 лет зимние и весенние отрицательные температуры уменьшились на 107,7 и 57,5 °С соответственно, летние положительные незначительно увеличились (на 6,1 °С), а осенние отрицательные температуры возросли (на 105,7 °С).

Среднемесячное количество осадков, по данным реанализа [16], минимальным было в 2006–2009 (99,2 мм/год) и 1977–1982 гг. (113,7 мм/год). Затем в течение 15 лет был отмечен значительный рост, максимальное значение зафиксировано в 1997 г. — 252,1 мм. Уменьшение количества осадков до 111,1 мм/год наблюдалось в 1998–2002 гг. В 2003 г. выпало 222,5 мм, но в 2004–2009 гг. снова произошло понижение (до 107,3 мм/год), а в 2010–2018 гг. — рост (до 149,3 мм/год).

Запас холода и тепла по шестилетним периодам на ключевом участке Цамбагарав по данным реанализа NCEP/NCAR [16]

Месяц	Сумма средней месячной температуры воздуха, °С						
	1977–1982	1983–1988	1989–1994	1995–2000	2001–2006	2007–2012	2013–2018
Январь	–541,5	–465,5	–522,5	–577,5	–549,5	–560,5	–519,7
Февраль	–469,0	–476,9	–489,1	–434,9	–486,7	–507,7	–510,3
Март	–442,3	–417,5	–438,1	–475,3	–407,6	–422,1	–351,8
Апрель	–212,5	–224,0	–286,5	–245,0	–292,5	–209,5	–189,7
Май	–51,1	–49,1	–92,0	–72,3	–93,0	–94,5	–127,1
Июнь	136,0	80,0	61,5	62,5	85,5	100,0	90,0
Июль	164,3	167,9	142,1	158,1	148,3	171,5	171,3
Август	117,3	149,3	67,2	100,7	102,8	106,9	123,2
Сентябрь	–4,0	7,5	–92,5	–64,5	–63,5	–37,0	–56,2
Октябрь	–194,3	–203,6	–205,6	–234,1	–221,1	–210,8	–257,3
Ноябрь	–352,0	–344,0	–382,0	–426,0	–368,0	–375,5	–415,5
Декабрь	–433,5	–456,7	–477,4	–513,1	–511,5	–535,3	–465,8
Среднегодовой запас холода, °С	–2700,2	–2629,8	–2985,7	–3042,7	–2993,5	–2953,0	–2893,6
Среднегодовой запас тепла, °С	417,6	397,2	270,7	321,3	336,6	378,5	384,5
Разница между запасом холода и запасом тепла, °С	–2282,6	–2232,6	–2715,0	–2721,4	–2656,9	–2574,5	–2509,1

Ледники хребтов Богдошань (Богдо-Ула), Боркультаг, Карлыктаг, Китай (43°03' с. ш., 94°43' в. д.). По данным [17], на северо-западе Китая, в восточной части Тянь-Шаня, в хребтах Богдошань, Боркультаг и Карлыктаг, насчитывалось 744 ледника общей площадью 411,4 км². По данным первой инвентаризации ледников Китая (1956–1983 гг.), здесь было 446 гляциальных объектов общей площадью 252,73 км², а по инвентаризации 2005–2010 гг. число ледников (5Y8) сократилось до 379, их площадь — до 178,12 км² [18, 19]. Длины ледников уменьшились с 549 до 793 м (в среднем на 671 м). С 1975 г. средние годовые температуры воздуха повысились здесь почти на 1,5 °С, а осадки холодного периода несколько уменьшились; снизилась и средняя высота снежного покрова [18, 19].

На северном склоне хр. Санджи-Музтау (высшая точка — пик Таянгер-2, 4486 м), в бассейне р. Урумчи, с 1959 г. ведутся стационарные наблюдения за динамикой ледника № 1. Он состоит из двух ветвей — восточной и западной. В 1980-е гг. его площадь составляла 1,84 км², длина восточной ветви — 2,3 км, высота нижнего края западной ветви ледника — 3736 м. Средняя годовая температура воздуха, по данным метеостанции, расположенной на высоте 3588 м, в 1960–1970-х гг. была –5,3 °С, средняя температура января составляла –15,9 °С, июля — 4,7 °С, количество осадков — 430–470 мм/год. В период с 1962 по 1980 г. конец ледника № 1 отступил на 105 м, а площадь уменьшилась на 0,11 км².

Дальнейшие исследования ледников [20] показали, что с 2005 по 2010 г. площадь ледника Урумчи № 1 уменьшилась с 1,677 до 1,645 км². Ежегодно ледник отступал в среднем на 4–7 м. Удельный годовой баланс ледника в мм водного эквивалента в 2006 г. составил –774, 2007 — –642, 2008 — –931, 2009 — +63 и в 2010 г. — –1327. Длина восточной ветви ледника в 2010 г. была 2,028 км, западной — 1,714 км. Максимальная высота восточной ветви ледника — 4267 м, средняя — 3978 м, минимальная — 3743 м; аналогичные высоты западной ветви — 4484, 4087 и 3845 м соответственно.

Восточная ветвь ледника (Урумчи № 1-0001) уменьшилась с 1,086 до 1,068 км², удельный годовой баланс в мм водного эквивалента в 2006 г. составил –920, 2007 — –696, 2008 — –1046, 2009 — –57 и в 2010 г. — –1441. Западная ветвь (Урумчи № 1-0002) уменьшилась с 0,591 до 0,577 км². Удельный годовой баланс в мм водного эквивалента составил в 2006 г. –506, 2007 — –542, 2008 — –719, 2009 — +289 и в 2010 г. — –1116. На фоне общего уменьшения массы ледников выделяется 2009 г., когда баланс массы западной ветви ледника был положительный.

В хр. Карлыктаг выбрано несколько ледников для исследования их динамики. Выбор определен аридными условиями и небольшими изменениями масс ледников, сопоставимыми с изменениями масс гляциальных объектов Восточного Саяна и хр. Цамбагарав. Характерной особенностью ледников является их питание лавинным снегом на значительной площади (рис. 5). Ледник 5Y822D в 2010 г.

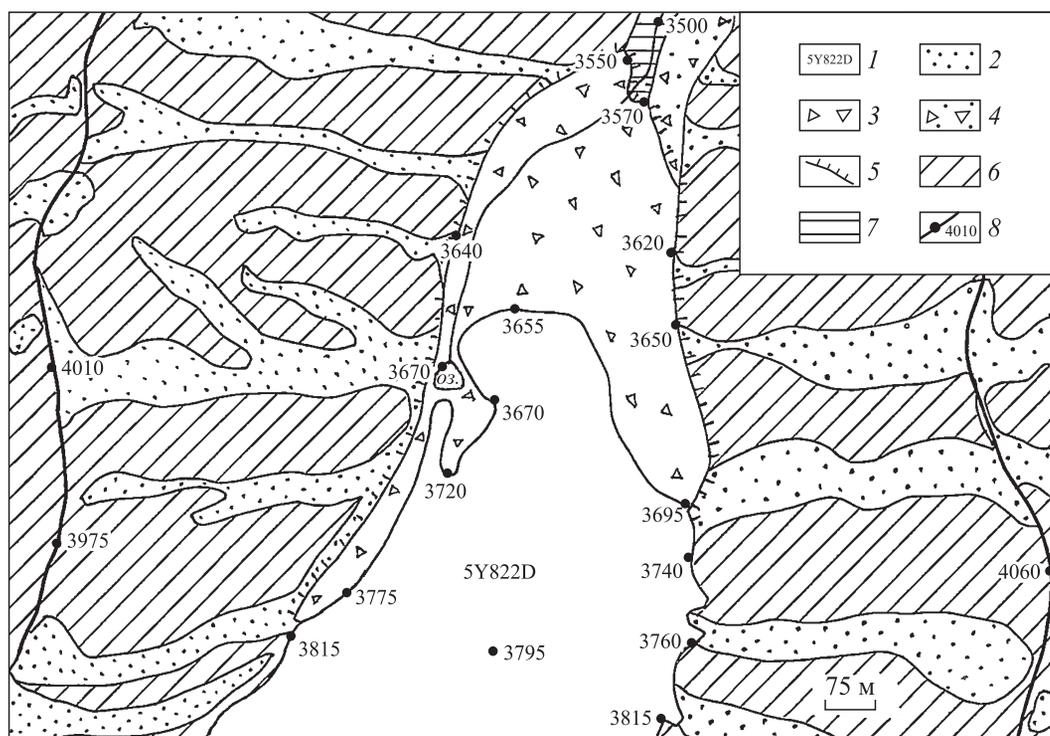


Рис. 5. Динамика ледника в хр. Карлыктаг (Восточный Тянь-Шань).

Нивально-гляциальные геосистемы: 1 — современный ледник, 2 — многолетние лавинные снежники, 3 — современные моренные отложения незадернованные, 4 — долинны древнеморенные горно-тундровые, 5 — ледник по состоянию на 2005 г. Гольцовые геосистемы: 6 — субальпинотипные крутосклоновые каменистые, 7 — долинны зандровые. 8 — водоразделы и отметки высот.

по сравнению с 2005 г. отступил на 375 м, а по высоте его нижний край поднялся на 150 м. Отступая, ледники формировали конечные моренные валы. Таких моренных валов от стадияльной морены малого ледникового периода (конец 1880-х гг.) насчитывается шесть-семь. По краям у конечных моренных валов, как правило, сформированы подпрудные озера.

Моренные отложения ледника переходят в ровную зандровую поляну шириной до 150 м. Поляну составляет окатанный каменный материал диаметром 10–15 см, дресва и песок. Свежие морены представлены крупным (в среднем 20–30 см) неокатанным обломочным материалом с примесью мелкозема.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования состояния ледников на ключевых участках в горах юга Восточной Сибири, на Монгольском Алтае и восточных отрогах хр. Тянь-Шань в Китае позволили выявить некоторые особенности их динамики.

Общим для всех изучаемых ледников является уменьшение их размеров — длин, площадей, объемов, вызванное глобальным потеплением, начавшимся в середине 1970-х гг. Пики повышения температуры воздуха наблюдались в 2002, 2003, 2007, 2008, 2011, 2012, 2016 и 2019 гг. Отличием внутриконтинентальных ледников от приокеанических является особенность их абляции: первые в меньшей степени подвержены изменениям длин и площадей и в большей — изменениям массивности, толщины.

Исследуемые ледники, находящиеся в горных системах, приуроченных к разным географическим зонам Земли — таежной, степной и пустынной, имеют некоторые различия. Их высотное расположение с севера на юг увеличивается с 2430–3000, 3260–4200 до 3750–4800 м. Высотный диапазон оледенения — 570, 940 и 1050 м соответственно. Величина тренда годовой приземной температуры воздуха для юга Восточной Сибири составила 0,2–0,5 °C/10 лет, для западной части Монголии — 0,03–0,29, для северо-запада Китая 0,1–0,3 °C/10 лет.

Резко континентальный климат и широкое распространение криолитозоны в горах юга Восточной Сибири и на Монгольском Алтае определяют своеобразную динамику нивально-гляциальных геосистем, при которой основным фактором устойчивости является запас холода в подстилающей поверхности и теле ледника, накопленный в период отрицательных температур. Этот запас холода препятствует интенсивному таянию каровых ледников и некоторых долинных. Бронирование каровых ледников обломочным каменистым материалом позволяет последним переходить в стадию каменных глетчеров.

Работа выполнена в рамках государственного задания (АААА–А21–121012190017–5) и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Государственного фонда естественных наук Китая (20–55–53030 ГФЕН_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плюснин В.М., Китов А.Д. Динамика нивально-гляциальных систем юга Восточной Сибири // Лёд и Снег. — 2010. — № 2. — С. 5–11.
2. Plyusnin V.M., Kitov A.D., Ivanov E.N., Sheinkman V.S. Distinctive characteristics of formation and dynamics of nival-glacial geosystems in the south of East Siberia and on Mongolian Altai // Geography and Natural Resources. — 2013. — N 1. — P. 1–13.
3. Kitov A.D., Kovalenko S.N., Plyusnin V.M., Suvorov E.G. Modern changes of high altitude landscapes and glaciation in Southern Siberia (Russia) on the example of the East Sayan Mountains // Environmental Earth Sciences. — 2015. — Vol. 74, N 3. — P. 931–1946.
4. Ревякин В.С., Мухаметов Р.М. Сокращение ледниковой системы Купол – Малый Актру на Алтае за период 1952–1979 гг. // Материалы гляциологических исследований. — 1981. — Вып. 41. — С. 187–190.
5. Ревякин В.С., Мухаметов Р.М. Динамика ледников горного узла Табын-Богдо-Ола // Гляциология Сибири. — 1993. — Вып. 4 (19). — С. 83–92.
6. Соломина О.Н., Филатов Е.С. Изменения горных ледников северо-востока России с максимума малого ледникового периода до середины XX века // Изв. РАН. Сер. геогр. — 1998. — № 2. — С. 53–63.
7. Нарожный Ю.К. Ресурсная оценка и тенденции изменения ледников в бассейне Актру (Алтай) за последние полтора столетия // Материалы гляциологических исследований. — 2001. — Вып. 90. — С. 117–125.
8. Никитин С.А. Закономерности распределения ледниковых льдов в Русском Алтае, оценка их запасов и динамика // Материалы гляциологических исследований. — 2009. — Вып. 107. — С. 87–96.
9. Ганюшкин Д.А., Москаленко И.Г., Чистяков К.В. Колебания ледникового массива Монгун-Тайга (Юго-Восточный Алтай) после максимума малой ледниковой эпохи // Лёд и Снег. — 2010. — № 3 (111). — С. 5–12.
10. Ананичева М.Д., Капустин Г.А. Оценка изменений ледников гор Бырранга по космическим снимкам и Каталогу ледников СССР // Лёд и Снег. — 2010. — № 3 (111). — С. 19–26.
11. Котляков В.М., Хромова Т.Е., Носенко Г.А., Попова В.В., Чернова Л.П., Муравьев А.Я., Рототаева О.В., Никитин С.А., Зверкова Н.М. Современные изменения ледников горных районов России. — М.: Тов-во науч. изданий «КМК», 2015. — 288 с.
12. Котляков В.М., Чернова Л.П., Муравьев А.Я., Хромова Т.Е., Зверкова Н.М. Изменения горных ледников в Северном и Южном полушариях за последние 160 лет // Лёд и Снег. — 2017. — Т. 57, № 4. — С. 453–467.
13. Каталог ледников СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — Т. 16. — 64 с.
14. Ганюшкин Д.А., Отгонбаяр Д., Чистяков К.В., Кунаева Е.П., Волков И.В. Современное оледенение хребта Цамбагарав (Северо-Западная Монголия) и его изменение с максимума малого ледникового периода // Лёд и Снег. — 2016. — Т. 56, № 4. — С. 437–452.
15. Отгонбаяр Д. Современное оледенение горного узла Цамбагарав-Ул (Монгольский Алтай) // Вестн. Том. ун-та. — 2011. — № 348. — С. 177–179.
16. Earth System Research Laboratory the NCEP/NCAR Reanalysis Project [Электронный ресурс]. — <https://vk.cc/83Pqyl> (дата обращения 03.05.18).
17. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Ледники. — М.: Мысль, 1989. — 420 с.
18. Chen X., Long D., Liang S., He L., Zeng C., Hao X., Hong Y. Developing a composite daily snow cover extent record over the Tibetan Plateau from 1981 to 2016 using multisource data // Remote Sensing of Environment. — 2018. — Vol. 215. — P. 284–299.
19. Naprasnikov A.T., Plyusnin V.M. The snow cover distribution behavior in the Baikal-Mongolian region // Geography and Natural Resources. — 2015. — Vol. 36, N 2. — P. 193–197.
20. Fluctuations of Glaciers 2005–2010 (Vol. X) / Ed. M. Zemp. — Zurich, 2012. — 335 p. [Электронный ресурс]. — https://wgms.ch/downloads/wgms_2012_fogX.pdf (дата обращения 08.04.2020).

Поступила в редакцию 15.04.2021

После доработки 14.05.2021

Принята к публикации 24.06.2021